

UNIVERSITE HENRI POINCARÉ-NANCY I  
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON  
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE - NANCY  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE RENNES

## **D E A NATIONAL DE SCIENCES DU SOL**

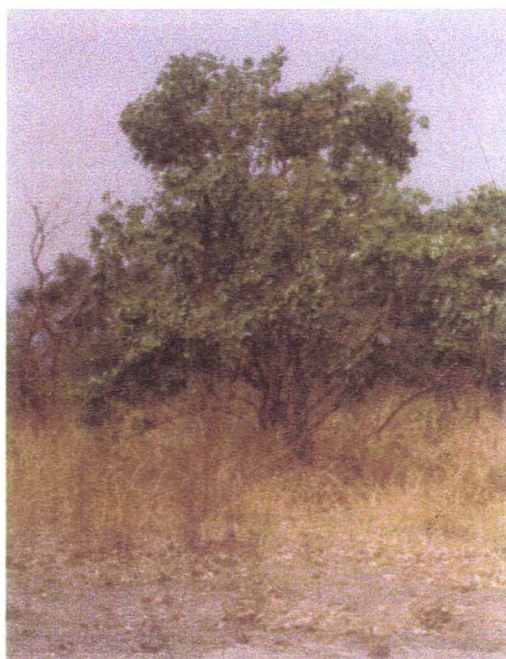
**HIEN Edmond**

Inscrit à l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE  
(NANCY)

**Dynamique de la Matière Organique d'un lixisol plinthique sous l'effet de  
la mise en culture et des pratiques culturales.  
(Sud-Ouest du Burkina Faso)**

**Stage effectué au CIRAD-AMIS programme Agronomie**

**Maîtres de stage :** F. Ganry  
R. Oliver



**Soutenu le 04 Juillet 2001 devant  
le jury composé de :**

MM J. BERTHELIN  
M.-C. GIRARD  
J.-L. MOREL  
J.-C. REMY  
C. WALTER

**Rapporteur :** F. ANDREUX

A

Feu mon frère,  
Nouonhirè Hervé HIEN

## **LEXIQUE**

**AMIS (CIRAD) :** Amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique

**BRGM :** Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina

**BUNASOLS :** Bureau National des Sols

**CIRAD :** Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**GIEC :** Groupement Intergouvernemental des experts sur les changements climatiques (IPCC en anglais)

**INERA :** Institut National de l'Environnement et de recherches Agricoles du Burkina

**WRB :** Base de Référence Mondiale des Ressources en sols



## 1. INTRODUCTION

Les caractéristiques de la matière organique du sol (MOS) sont étroitement corrélées à l'environnement pédo-bio-climatique d'une part et aux modalités de gestion des terres de l'autre. Toute modification de l'un ou l'autre de ces déterminants affecte ces caractéristiques en engendrant des processus qui vont influencer les cycles et bilans des éléments majeurs, dont le carbone (Volkoff *et al.*, 1989 ; Eswaran *et al.*, 1993 ; Feller, 1994 ; Bernoux *et al.*, 1998 ; Fernandes *et al.*, 1997 ; Manlay, 2000), ainsi que la dynamique de l'eau, les échanges gazeux et thermiques au sein des sols (Pieri, 1989 ; Batjes, 1996). Les défrichements en particulier, avec le remplacement d'un couvert pérenne par des cultures annuelles, en modifiant la quantité et la répartition de la production végétale, entraînent la baisse des teneurs en carbone (Lundgren, 1978 ; Detwiler, 1986 ; Houghton *et al.*, 1991 ; Van Noordwijk *et al.* 1997). Cette baisse des taux de carbone durant les premières années de mise en culture n'est pas seulement liée à la non restitution des résidus végétaux, mais aussi à une augmentation de la biodégradabilité de la matière organique recyclée (Feller, 1994).

Cette situation a deux conséquences majeures :

- au niveau local, la MOS est un facteur essentiel de la fertilité des sols cultivés. Dans les sols de la zone intertropicale, où dominent des argiles de type kaolinitique et des oxydes (Woomer *et al.*, 1998), la MOS joue un rôle majeur dans la productivité des sols parce qu'elle représente le plus grand réservoir et la source de nutriments (N, P, K,...) pour la plante (Feller et Beare, 1997). Elle influence également le pH, la CEC et la structure du sol.
- au niveau global, les sols représentent un réservoir majeur de carbone terrestre, avec une masse mondiale estimée à  $1200-1600 \cdot 10^{15}$  g de C, ce qui équivaut approximativement à la somme des quantités de carbone contenues dans la biomasse végétale terrestre ( $550-700 \cdot 10^{15}$  g de C) et dans l'atmosphère ( $750 \cdot 10^{15}$  g de C) additionnées ( Eswaran *et al.*, 1993 ; Batjes, 1996 ; Zech *et al.*, 1997 ; Manlay, 2000). L'estimation des stocks de carbone ( C ) organique des sols qui sont du reste en constante évolution sous l'effet de facteurs naturels (climat, végétation et processus pédogénétiques) et anthropiques est donc d'une importance considérable face aux changements de mode de gestion des terres, pour mieux s'interroger sur leur rôle, en termes de source ou de puits de carbone, avec des objectifs de gestion durable de la fertilité, mais également de séquestration du carbone vis-à-vis des risques de réchauffement.

Le Sud-Ouest du Burkina Faso, notamment les provinces du Poni et du Noumbiel, cadre de la présente étude, se présente, par rapport au reste du pays, comme l'une des zones les plus favorables à la production de biomasse : végétation de savane assez dense liée à une pluviométrie légèrement supérieure à 1000 mm.

Cependant, depuis les années 70, les flux migratoires en provenance du nord du pays et les pratiques actuelles de gestion des terres (essartage, brûlis, "itinérance", ...) dégradent petit à petit



cet écosystème et semblent défavorables au maintien de stocks élevés de carbone. Partant de ce constat et des connaissances actuelles sur la dynamique de la MOS, nous formulons les hypothèses suivantes :

**Hypothèse 1 :** les sols sous végétation naturelle présenteraient le plus fort taux de stockage de C.

**Hypothèse 2 :** la dégradation des sols résulterait d'un déséquilibre entre les déterminants naturels, humains et animaux, des stockages et des transferts de matière organique.

**Hypothèse 3 :** l'étude de la répartition du C dans le sol selon des compartiments obtenus par fractionnement granulométrique (Feller, 1994) est susceptible de nous aider à comprendre l'évolution des stocks et la façon dont elle serait liée aux modes de gestion des terres.

**Hypothèse 4 :** On pourrait alors entrevoir une possibilité d'augmenter les stocks en matière organique d'un terroir par des aménagements, des réglementations et de simples modifications des règles de gestion de l'espace qui soient compatibles avec le contexte social et économique local.

En partant d'une représentation simplifiée de l'agroécosystème et des hypothèses énoncées ci-dessus, notre objectif pour le présent travail est d'évaluer le potentiel de stockage de C dans cette région et d'en comprendre les déterminants. Par ailleurs, sur un plan méthodologique nous mettrons l'accent sur la phase de prélèvement dans l'évaluation des stocks de C.

## **2. MATERIEL ET METHODES**

### **2.1. Contexte de l'étude**

La présente étude se situe dans la suite des travaux de cartographie pédologique (BUNASOLS 1999) réalisés dans les provinces du Poni et du Noumbiel, au Sud-Ouest du Burkina Faso. Cette zone de 10 361 km<sup>2</sup> a pour coordonnées géographiques 9° 30' et 10° 40' de latitude Nord, et 2° 40' et 3° 50' de longitude Ouest. Les provinces du Poni et du Noumbiel appartiennent au secteur phytogéographique soudanien méridional (Guinko, 1998), avec une pluviométrie de type monomodal comprise entre 1 000 et 1 200 mm par an. Environ 22% de la zone possède une couverture forestière relativement dense (savane arbustive à arborée dont la projection des couronnes est supérieure à 30%), d'après Fontes et al. (1999) ; 1% (2280 ha) de cette couverture est défrichée chaque année. Le régime thermique se caractérise par de fortes amplitudes : la température moyenne annuelle (de ces 20 dernières années) est de 27.8°C avec des amplitudes thermiques mensuelles moyennes de 8,4°C (août) et 16.1°C (décembre). Les formations géologiques sont dominées par un socle de roches cristallines (granites et granitoïdes) dans lesquelles se sont introduites au début du primaire, par de larges fissures de direction générale nord-sud, des roches éruptives qui ont métamorphisé les formations en place en donnant naissance au granite baoulé (BRGM, 1971).

La cartographie pédologique de la zone montre environ 60% de sols dans la classe des sols à sesquioxides de fer et de manganèse (CPCS, 1967). Ils sont caractérisés par une teinte dominante de l'horizon B dans la gamme des 7,5YR voire 5YR. En outre, environ 50% des sols présentent une induration (carapace ou cuirasse ferrugineuse) à moins de 120 cm de profondeur. Les horizons de surface sont de texture généralement grossière : ils contiennent peu d'éléments fins, considérés comme les plus actifs pour le gonflement à l'eau, le stockage des éléments minéraux et les échanges ioniques. De plus, la nature particulière de leur fraction fine - dominance d'argile de type kaolinitique et de sesquioxides de fer - rend en définitive leur phase minérale relativement inerte. Le pH est le plus souvent faiblement acide sur l'ensemble des horizons. Par rapport au WRB, nous proposons de considérer ces sols comme des Lixisols Plinthiques : sols dont les argiles présentent une faible CEC ( $< 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  argile) et dont la saturation dans l'horizon B est inférieure à 50%. Signalons cependant que les déterminations de la CEC par la méthode cobaltihexamine ne permettent pas de conclure définitivement sur ce point. Il faudra donc réaliser des déterminations par la méthode de référence à l'acétate d'ammonium à pH 7,0.

Nous appuyant sur nos travaux antérieurs de prospection pédologique, et à l'aide de la carte morphopédologique des provinces du Poni et du Noumbiel établie par nous-mêmes au Bureau National des Sols (BU.NA.SOLS) en 1999 (échelle : 1/100 000, résolution  $4 \text{ km}^2$ ), nous avons pu identifier des sites (figure 2) sur un même type de sol et présentant trois modes de gestion différents.

## **2.2. Dispositifs expérimentaux**

### **Site sous savane à végétation naturelle**

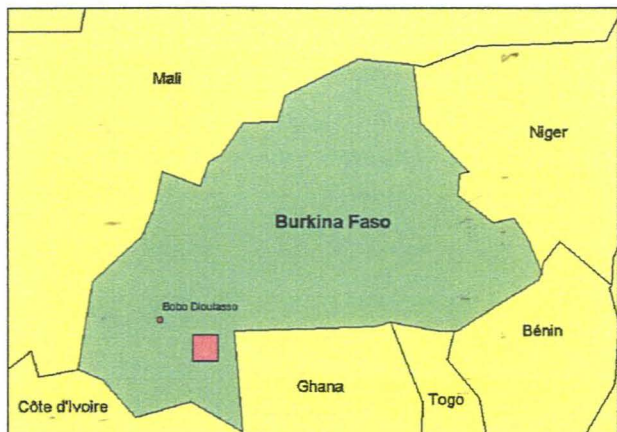
Il s'agit d'une savane arbustive à arborée assez dense à *Isobertia doka*, *Combretum glutinosum*, *Piliostigma thonningii* et *reticulatum*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Parinari curatellifolia*, *Entada africana*, *Lannea acida*, *Gardenia erubescens*, *Diospyros mespiliformis*, *Tamarindus indica*, *Sericanthe chevaleri*, avec un tapis herbacé à *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum* et *Loudetia togoensis*. Elle n'a pas été cultivée depuis plus de 30 ans. C'est une zone soumise à la vaine pâture, sujette au feu de brousse une fois par an en début de saison sèche.

### **Site sous culture depuis 13 ans sans apport de fertilisant**

C'est un champ sous savane parc à *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* d'une superficie totale de 2,00 ha cultivé sans interruption depuis 13 ans, d'abord en maïs les 3 premières années après la mise en culture et depuis lors en mil (*Pennisetum typhoides*) avec des rendements moyens médiocres ( $500 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Le labour se fait à la charrue à une profondeur moyenne de 10 cm. Aucun fertilisant organique ou minéral n'y est apporté par l'agriculteur. La totalité des résidus de récolte n'est pas recyclée dans les champs de culture, mais utilisée comme matériaux de construction,

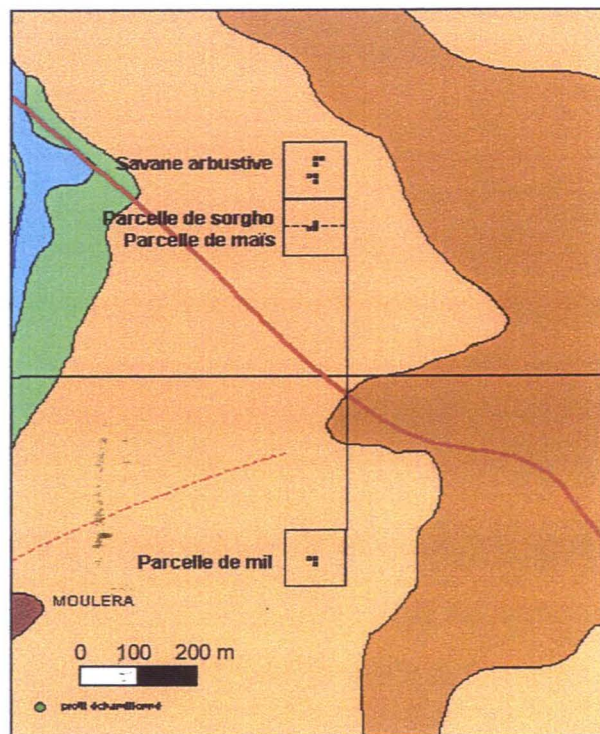


combustibles et dans une moindre mesure comme fourrage, consommé en saison sèche par les vaches qui ont nouvellement vêlé ou les quelques animaux de trait intégrés à l'exploitation agricole.



**Figure 1 – Situation de la zone d'étude**

**Figure 1 – Location of the study site**



**Figure 2 - Sites de prélèvement →**

**Figure 2 – Sampling areas →**

(cf. carte hors texte pour la légende)

#### **Site sous culture depuis 13 ans avec apport de fumier à partir de la seconde année.**

Ce champ sous savane parc à *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa* et rejets d'*Isobertinia doka* de 2.00 ha, bénéficie d'un apport annuel de 2 tonnes de fumier de bœufs. Le labour se fait également à la charrue à une profondeur moyenne de 10 cm. Une moitié estensemencée en maïs (*Zea mays*, SR21) et l'autre en sorgho (*Sorghum bicolor*, Wedzouré) chaque année. L'année suivante c'est la parcelle de maïs qui est emblavée en sorgho et vice versa. Les rendements moyens sont de 1000 kg ha<sup>-1</sup> pour le sorgho et de 2000 kg ha<sup>-1</sup> pour le maïs.

Ces sites sont situés en aval d'un plateau cuirassé, sur un glacis haut de pente à Librira, à 6 km au sud de Loropéni (cf. carte). La topographie environnante de la zone est assez plane, avec une pente douce de 1 à 2% d'est en ouest. La surface dans son ensemble est recouverte de graviers ferrugineux et de quartz. L'érosion est en "nappe". Cette érosion est insidieuse, d'une part parce qu'on la distingue mal, et d'autre part, parce qu'elle est sélective, n'évacuant que les matières légères: la matière organique, les argiles et les limons auxquels sont liés la majorité des nutriments.



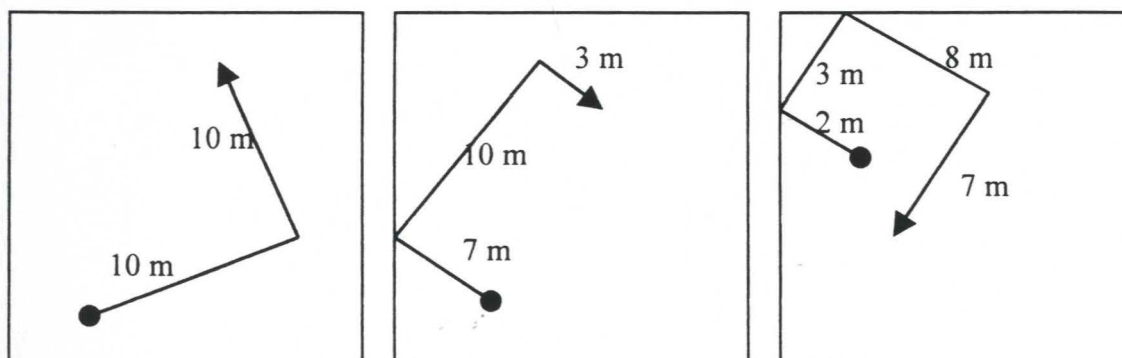
### 2.3. Caractérisation du milieu physique et des sols : du site au laboratoire

Une parcelle d'un hectare (100 m X 100 m) est délimitée dans chaque site pour les différentes caractérisations du sol. Cinquante fosses pédologiques sont ouvertes à une profondeur de 120 cm selon la répartition suivante : 15 dans la parcelle sous savane, 15 dans la parcelle sous culture sans fertilisation et 20 dans la parcelle sous culture avec apport de fumier. Ces sols sont décrits avec leur environnement selon les normes FAO de description des sols (FAO, 1977), classés selon la Base de Référence Mondiale pour les ressources en sols (FAO, 1999) et prélevés selon la procédure indiquée par une équipe australienne (Mckenzie et al., 2000) :

- 1) une position de départ aléatoire est choisie à l'intérieur de chaque parcelle délimitée et marquée à l'aide d'un piquet ;
- 2) la direction du "transect" initial est choisie. Dix mètres de ficelles sont étendus dans la direction choisie et le profil à l'extrémité de la ficelle marquée avec un second piquet. Si la ficelle croise les limites du site avant les 10 mètres, le premier transect est arrêté, la longueur notée et l'on démarre le transect suivant ;
- 3) la direction du second transect doit être à angle droit avec le premier. Si ce transect croise aussi une limite de la parcelle, on recommence la phase 2;
- 4) la longueur, l'orientation des transects, ou les deux peuvent être modifiés par endroits pour tenir compte de la variabilité du site et pour que la longueur totale du cheminement atteigne au moins 20 mètres ;
- 5) sur les différents parcours, les états de surface, la végétation, les éléments grossiers et les manifestations d'érosion et activité biologique sont décrits ;
- 6) les trois solums aux extrémités des transects sont prélevés.

**Figure 3 – Schémas des transects**

**Figure 3 – Diagrams of transects**



Douze solums de trois horizons chacun sont ainsi retenus. Un prélèvement de type pédologique, au piochon, par horizon pédologique dans chaque solum est effectué.

Les échantillons sont conditionnés au laboratoire INERA de Saria à 80 km au sud-ouest de Ouagadougou. Dans ce laboratoire, les déterminations suivantes sont effectuées : (1) les poids (humide et sec) des différents échantillons, (2) les humidités pondérales, (3) les poids des graviers et autres débris organiques, (4) les volumes des graviers. Nos travaux concernent enfin le séchage, le tamisage à 2 mm et le conditionnement des échantillons en vue de leur expédition aux laboratoires du CIRAD. Trente six échantillons de 450 g environ chacun sont acheminés par fret aérien au laboratoire d'analyses du CIRAD (Centre de Lavallette) pour déterminer la granulométrie, le pH (eau et KCl), la matière organique, le complexe d'échange, le phosphore. Le fractionnement granulométrique de la matière organique est réalisé au laboratoire MOST ( Matière Organique des Sols Tropicaux) du CIRAD. Les densités apparentes sont mesurées pour toutes les fosses in situ à l'aide du densitomètre à membrane. Les stocks ( $t\ ha^{-1}$ ) de C et N d'un horizon d'épaisseur  $e$  en (décimètre), à teneurs en C et N exprimées en  $mg\ g^{-1}$  de sol, et dont la densité apparente est  $da$  (en  $g\ cm^{-3}$ ) sont calculés selon la formule :

$$C, N\ (t\ ha^{-1}) = C, N\ (mg\ g^{-1}\ de\ sol) * da(g\ cm^{-3}) * e\ (dm) * \text{taux de terre fine}$$

#### **Poids de terre fine, de graviers et de débris organiques (laboratoire INERA)**

L'échantillon de sol est malaxé avec un broyeur sans coup brusque. La terre obtenue est tamisée avec un tamis à mailles de 2 mm. On recueille la terre fine et les éléments grossiers composés de graviers et de débris organiques qui constituent le refus. Les débris organiques sont séparés à la main. Les trois fractions ainsi obtenues sont pesées séparément, donnant le poids de terre fine, le poids de graviers et le poids de débris organiques.

#### **Volume des graviers (laboratoire INERA)**

Les graviers sont lavés et trempés pendant une nuit dans de l'eau. Ils sont ensuite retirés et séchés à l'aide d'un papier buvard. On les verse dans une éprouvette graduée d'un litre contenant de l'eau dégazée jusqu'au trait 500 ml. On lit alors le niveau de l'eau ( $V_1$ ) après ajout des graviers. On obtient le volume des graviers par différence :  $V\ (cm^3) = V_1 - 500$

#### **Caractérisation physico-chimique des sols (Laboratoire central des analyses du CIRAD)**

La granulométrie est déterminée selon la méthode internationale par sédimentation à la pipette sur granulomètre automatique TEXSOL (Norme AFNOR X 31 - 107, 1983), après destruction de la MO avec de l'eau oxygénée, mise en suspension à l'aide d'un mélange hexamétaphosphate de



sodium et de bicarbonate de sodium. Le pH est mesuré dans un rapport sol/solution de 1/2,5 après 2h30 de contact (Norme AFNOR X 31 – 103, pour le pH eau et Norme X 1 – 104 pour le pH KCl). Le carbone organique est dosé selon la Norme AFNOR NF ISO 10694, et le carbone total par combustion sèche sur analyseur élémentaire THERMOQUEST CN 2100. La mesure est faite par chromatographie gazeuse. Le calcul de la teneur en MO est faite en multipliant le carbone par le facteur de 1,724. La détermination de l'azote total est réalisée par la méthode DUMAS, détermination par combustion sèche sur analyseur élémentaire THERMOQUEST 2100 et mesure par chromatographie gazeuse. La composition du complexe et la C.E.C sont déterminées selon la méthode au chlorure de cobaltihexamine d'Orsini et Rémy (1976) modifiée par Fallavier et al. (Norme AFNOR XX31 – 130). Le phosphore assimilable est extrait selon la méthode Olsen modifiée Dabin (1967) et dosé par colorimétrie au bleu de molybdène (Norme AFNOR X 31 – 116). En plus de ces déterminations « classiques », le fractionnement granulométrique de la MO est effectué selon les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  (A), 50-200  $\mu\text{m}$  (B), 20-50  $\mu\text{m}$  (C) et 0-20  $\mu\text{m}$  (D), (Feller, 1994). Le fractionnement granulométrique permet de connaître la distribution quantitative de la matière organique par rapport à la granulométrie des constituants minéraux, et ce sans aucune intervention de réactions chimiques susceptibles de dénaturer les constituants organiques ou minéraux : un échantillon de 20g de terre tamisée à 2 mm est introduit dans un flacon plastique de 250 ml avec 4 billes d'agate ( $\varnothing$  1 cm), 200 ml d'eau permutée, et 0,5 g d'hexamétaphosphate de sodium (HMP) ; puis on agite à l'agitateur rotatif à 50 RPM pendant 2 heures ; On sépare ensuite les fractions  $> 50 \mu\text{m}$  avant de traiter la filtration  $< 50 \mu\text{m}$  aux ultrasons pendant 10 minutes. Après avoir tamisé pour recueillir les fractions comprises entre 20 et 50,  $\mu\text{m}$  on ajoute 1 à 2 ml de  $\text{SrCl}_2$  (à 50g de chlorure de strontium pour 100 ml), avant de laisser flocculer une nuit afin de traiter les fractions  $< 20 \mu\text{m}$ . Toutes les fractions sont recueillies dans des coupelles en verre, séchées à l'étuve à 50°C, pesées et broyées ensuite pour le dosage de C et N.

### **Réalisation de la carte (Laboratoire GEOTROP du CIRAD)**

Afin de pouvoir extrapoler les résultats de stocks de carbone au niveau régional, une carte morphopédologique avec un champ spatial de 116,54  $\text{km}^2$  autour des sites de prélèvement est réalisée. Pour dresser cette carte, nous nous sommes appuyés sur des prises de vues aériennes de la zone (échelle : 1/50 000) acquises à l'Institut Géographique du Burkina (IGB). Ces photographies aériennes ont fait l'objet d'un réexamen au stéréoscope à miroirs afin d'affiner leur interprétation. Les unités morphopédologiques sont dégagées avec une légende définitive en intégrant les types de sols identifiés et la géomorphologie. La numérisation et la finalisation de la carte sont faites au Laboratoire GEOTROP du CIRAD de Montpellier : la carte de base est scannée pour récupérer les limites. Elle est ensuite décomposée en 14 fichiers pour récupérer les unités sur MapInfo. Les



fichiers sont alors transposés sur ArcInfo pour situer la carte dans l'espace, avec affectation des coordonnées. On l'exporte enfin sur MapInfo pour l'habillage et la mise en texte.

#### **2.4. Approche du bilan de la MOS par le bilan de l'azote et le coefficient de minéralisation**

L'équation générale du bilan de N est :  $\Delta N = \sum_0 \text{inputs} - \sum_0 \text{outputs}$  ; (1)

$\Delta N$  = est la variation de N total du sol pour une profondeur donnée sur t années.

En zone tropicale, l'ensemble du cycle de la MOS est accéléré ; il en résulte que le niveau d'équilibre est atteint plus rapidement qu'en régions tempérées : Dommergues et Mangenot (1970) l'évaluent à moins de 10 ans en zone intertropicale. L'état d'équilibre organique au sein d'une succession culturale induisant  $\Delta N = 0$ , on peut calculer deux paramètres importants en agronomie : les pertes d'azote non mesurables directement et le coefficient de destruction annuel  $k_2$ .

##### **Estimation des pertes globales d'azote**

L'état d'équilibre implique l'égalité entre les inputs et les outputs, d'où l'équation (2) ci-dessous ; celle-ci permet de calculer, par différence, les outputs non mesurables directement, encore appelés outputs inconnus. De la relation traduisant l'équilibre, à savoir :

$\sum_0 \text{inputs} = \sum_0 \text{outputs connus} + \sum_0 \text{outputs inconnus}$ , on tire les outputs inconnus :

$$\sum_0 \text{outputs inconnus} = \sum_0 \text{inputs} - \sum_0 \text{outputs connus} \quad (2)$$

Les outputs inconnus sont constitués des pertes en profondeur par lixiviation et ruissellement, et des pertes dans l'atmosphère par dénitrification et volatilisation. Les inputs sont constitués dans le cas de la parcelle de mil des apports de N provenant de l'atmosphère et de la fixation libre de  $N_2$ .

##### **Estimation du coefficient de destruction $k_2$**

Le coefficient  $k_2$  représente la fraction de l'humus exprimée en C ou en N disparaissant chaque année. Par référence au modèle mathématique généralement utilisé (Jenny, 1941 ; Hénin et Dupuis, 1945), traduisant la variation du taux d'humus (sens large) en fonction du temps nous pouvons écrire :  $dH/dt = -k_2H + A$  (2)

où H = quantité d'humus du sol (sens large),

A = apport annuel de MO incluant le système racinaire implanté dans la couche considérée;

t = temps en année ;  $k_2$  = fraction de l'humus (sens large) disparaissant chaque année,

H, A et  $k_2$  se réfèrent à une profondeur donnée. Au niveau d'équilibre, la variation du taux d'humus dans le temps est nulle :  $dH/dt = 0 \Rightarrow A = k_2H$  (3)

## **Estimation des exportations d'azote par la récolte**

Données de départ (empruntées à la littérature) : rendement grains moyen, pourcentage de N dans les grains, rapport pailles/grains pour un rendement en grains donné et pour une variété donnée, pourcentage de N dans les pailles.

Données calculées : rendement paille, N total dans les grains, N total dans les pailles,

$N_{\text{total "grains + pailles"}} = N_{\text{ex}}$

## **Estimation de la biomasse racinaire totale (BRt)**

D'après Sauerbeck *et al.* (1982), le rapport : BRt/BRv (v = visible à la récolte) pour le mil serait de l'ordre de 2,5. D'après Charreau et Tourte (1967), le rapport biomasse aérienne totale (BA<sub>t</sub>) sur BRv d'un mil en culture extensive serait de 9,1. Ces deux relations conduisent à la relation : BRt = BA<sub>t</sub> \* 0,275.

## **3. Résultats**

### **3.1. Caractéristiques des sols étudiés**

#### **3.1.1. Caractéristiques morphologiques des sols étudiés**

Tous les sols décrits se caractérisent par trois horizons assez distincts (A, Bt1, Bt2), bien drainés. La couleur des horizons A varie de 10YR4/2 (sous savane) à 10YR5/6 (sous culture sans MO) et 10YR4/3 (sous culture avec fumier). Les horizons Bt1 et Bt2, marqués par une individualisation du fer, sont assez homogènes quel que soit le mode de gestion et présentent des couleurs d'ensemble variant de 7,5YR 5/6 à 7,5YR 5/8. Bt2 repose sur un horizon pétroplinthique, (Bmcs) à induration moyenne qui limite la pénétration racinaire. La structure est dans l'ensemble polyédrique subanguleuse faiblement développée voire massive à l'exception de l'épisolum humifère sous savane, assez bien structuré. Au dessus de ce dernier on trouve souvent une litière mince (feuilles, brindilles, branches...) de 1 à 3 cm. Il existe un gradient d'argile avec la profondeur. Les textures varient en effet de "limon sableux" en surface à "argile sableuse" en profondeur. L'épisolum humifère est plus épais (21,5 cm en moyenne) sous savane, alors qu'il ne représente que 10 cm sous culture, que le sol soit fertilisé ou non. Bt1 varie de 33,5 cm en moyenne sous savane à 30 cm sous culture avec apport de fumier, voire 26 cm sous culture, sans apport de matière organique. L'horizon pétroplinthique est moins profond sous culture (64 à 67cm de profondeur) que sous savane (70 cm). Le taux d'éléments grossiers (graviers ferrugineux et graviers de quartz) se caractérise dans les sols sous savane par un gradient croissant de la surface (9%), aux horizons de profondeur (26%) en passant par un taux de 15% dans les horizons médians. Dans les sols cultivés en revanche, la charge graveleuse est plus importante, dans les horizons de surface où le taux de graviers ferrugineux est de l'ordre de 33% évoluant vers 20% dans les horizons médians et 30% en



profondeur. La densité apparente est plus faible sous savane notamment dans les horizons de surface. La surface du sol est marquée par des traces d'érosion hydrique (raies en surface, racines dénudées, amas de sable...) bien visibles dans les parcelles cultivées.

### 3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Les résultats analytiques du tableau 1 montrent une différenciation nette entre les caractéristiques physico-chimiques des sols sous savane et celles sous culture sans apport de fumier. Il apparaît une chute des teneurs en C, N,  $\text{Ca}^{+}$ , de la somme des bases échangeables, de la CEC des sols sous maïs/sorgho et surtout sous mil notamment dans les horizons A.

**Tableau 1** - Résultats des analyses physico-chimiques des sols  
**Table 1** - Results from the physico-chemical analyses of the soils

Couvert	Savane			Mil			Sorgho/maïs		
Horizon	A	Bt1	Bt2	Ap	Bt1	Bt2	Ap	Bt1	Bt2
Epaisseur (dm)	2,15	3,35	1,47	1,07	2,63	2,73	1,05	3,10	2,60
Densité apparente	1,54	1,64	1,72	1,76	1,73	1,76	1,69	1,64	1,76
Taux de terre fine	0,85	0,78	0,65	0,51	0,69	0,52	0,58	0,69	0,58
Argiles %	15,72	43,57	47,38	14,33	19,10	30,27	13,25	42,65	42,65
pH eau	6,70	6,56	6,10	6,18	5,90	5,60	7,15	5,90	5,10
C mg g <sup>-1</sup> de sol	20,3	4,7	3,2	5,3	4,6	4,0	13,0	4,1	2,1
N mg g <sup>-1</sup> de sol	1,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	1,1	0,4	0,2
C/N	15,42	12,33	12,16	14,59	14,34	13,44	11,95	11,54	10,01
Ca éch. (cmol kg <sup>-1</sup> )	5,64	1,29	1,06	1,05	0,78	0,69	3,02	0,55	0,44
Ca+Mg+K+Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	8,4	3,2	2,2	1,7	1,2	1,1	5,4	1,5	1,1
CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	10,8	3,9	3,4	1,9	1,7	2,1	7,6	2,9	3,1
K éch. (cmol kg <sup>-1</sup> )	0,44	0,22	0,11	0,05	0,04	0,09	0,69	0,53	0,24
Al éch. (cmol kg <sup>-1</sup> )	0,00	0,02	0,14	0,04	0,20	0,49	0,00	0,46	0,76
P Olsen-Dabin (mg kg <sup>-1</sup> )	12,9	9,8	10,9	6,4	6,33	3,55	16	7	4,6
Saturation	0,78	0,82	0,66	0,87	0,71	0,54	0,71	0,52	0,36

Les textures sont assez homogènes dans l'ensemble pour les horizons A quels que soit les modes de gestion avec en moyenne 13 à 16% d'argile. Dans les horizons Bt1 et Bt2, ce taux d'argile est plus bas sous culture sans apport de MO, respectivement 19 et 30% contre 43% en moyenne dans les autres cas. La CEC, la somme des bases échangeables et le taux de phosphore chutent sous culture. Les baisses de teneur en C sous culture sans apport de fumure s'accompagnent d'une baisse de la CEC. La tendance à l'acidification du sol sous culture notamment sous mil est nette. Le taux de  $\text{Al}^{+++}$  est plus élevé sous culture dans les horizons de profondeur notamment sous sorgho/maïs où il atteint 0,76 cmol kg<sup>-1</sup> de terre dans Bt2. On peut remarquer que le pH eau dans Bt2 sous culture



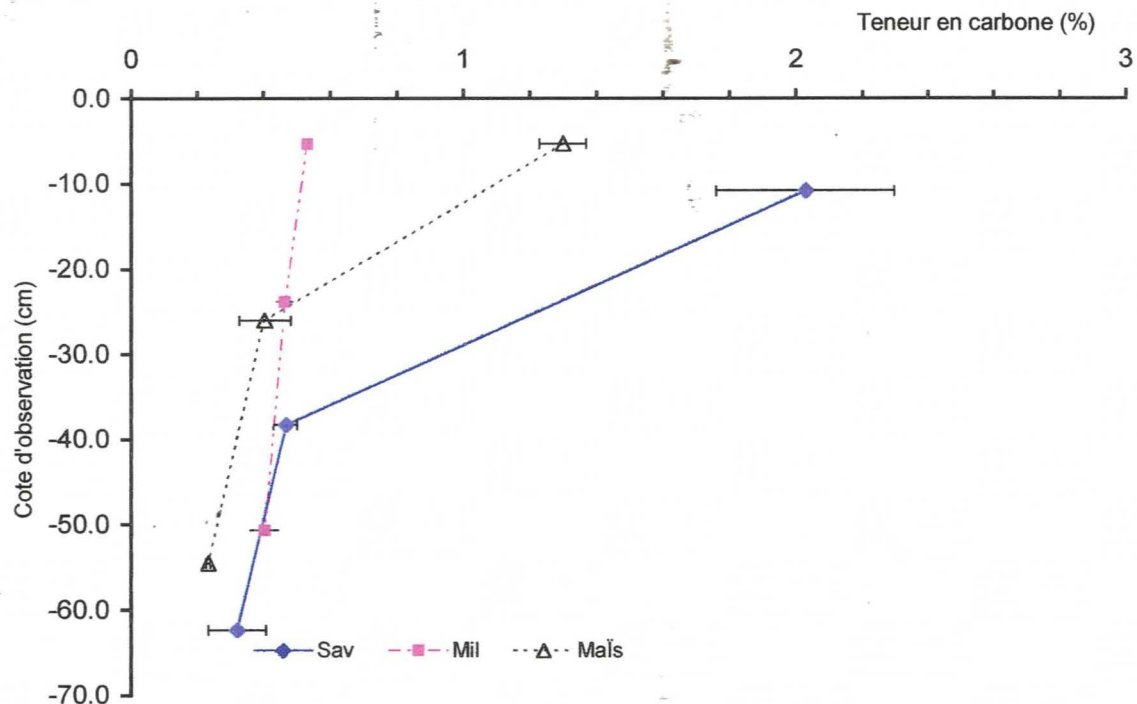
avec apport de fumier est le plus bas sur l'ensemble des résultats. Les teneurs en  $Al^{+++}$  échangeable y sont des plus élevées à partir du second horizon. Sous culture avec apport de MO le pH est plus élevé (7,15) dans l'horizon A par rapport aux autres cas. Le taux de phosphore en surface y est également élevé (15,95). Le potassium échangeable sous culture avec apport de fumier se caractérise par des taux plus élevés que dans les autres cas sur l'ensemble des trois horizons.

### 3.2. Approche quantitative de la MOS

#### 3.2.1. Les stocks de carbone du sol

Figure 4 – Profils de carbone (%)

Figure 4 – Profiles of carbon (%)



Il existe un contraste entre les teneurs (%) de C en surface. La savane présente la teneur la plus élevée (2,03%), contre 1,30% sous sorgho et 0,53% sous mil. Les teneurs sous mil sont les plus faibles en surface et ne varient pratiquement pas de la surface jusqu'en profondeur.

Dans les horizons de profondeur les teneurs de C baissent et ne présentent plus de contraste entre les différents mode de gestion. En effet, les teneurs en C varient peu pour les horizons Bt1 et Bt2, quel que soit le mode de gestion (< 0,5% en moyenne).

**Tableau 2** – Stocks de carbone ( $\text{t ha}^{-1}$ )**Table 2** – Stocks of carbon ( $\text{t ha}^{-1}$ )

Horizons/Couvert	Savane	Mil	Sorgho
<b>A</b>	56,5 (69)	5,2 (17)	13,1 (34)
<b>Bt1</b>	20,1 (25)	14,6 (49)	17,6 (46)
<b>Bt2</b>	5,2 (6)	10,3 (34)	7,4 (19)
<b>0 – 30 cm</b>	61,5 (75)	15,9 (53)	24,7 (65)
<b>Ct (carapace)</b>	81,9	30	38,1

( ) : Pourcentage / rapport au Ct

Ct : Stock de C jusqu'à la carapace

Les stocks ont été calculés pour chaque horizon selon la formule énoncée au § 2.3. en tenant compte des teneurs en C de la densité apparente de l'épaisseur de chaque horizon et du taux de terre fine. Les stocks de carbone sont très nettement supérieurs sous savane. Ils sont de  $81,9 \text{ t ha}^{-1}$  en moyenne en considérant les trois horizons supérieurs (A, Bt1 et Bt2). Les stocks les plus faibles sont enregistrés sous culture sans apport de fumier ( $30 \text{ t ha}^{-1}$ ). Enfin les stocks sous culture avec apport de fumier ( $38 \text{ t ha}^{-1}$ ) sont nettement inférieurs à ceux obtenus sous savane. Il importe de noter que, de 69 % en moyenne par rapport au stock total sous savane, les stocks de C de l'horizon de surface chutent à 34% sous culture avec fumier et 17% sous culture sans apport de fumier. Les stocks de C calculés selon la norme GIEC (IPCC en anglais) c'est à dire sur les 30 premiers centimètres, montrent que cette couche contient la plus grande proportion des stocks de C : 75% sous savane, 65% sous sorgho et 53% sous mil. Les stocks de N également sont plus élevés sous savane ( $5,77 \text{ t ha}^{-1}$ ). En revanche, sous culture ces stocks sont assez proches dans les deux cas :  $2,1 \text{ t ha}^{-1}$  sans fumier et  $2,9 \text{ t ha}^{-1}$  avec fumier.

### 3.2.2. Estimation de Nex et du bilan N sol-plante dans la parcelle de mil

Les données de départ proviennent de Ganry (1990a).

%N grains = 2% ; %N pailles = 1,3% ; % N racines = 0,93% ; rapport pailles/grains = 3,4

Les données sur le rendement en grains sont issues de notre enquête : rendement grains moyen sur 10 ans =  $500 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

Le calcul donne :  $BA_t \text{ « pailles + grains »} = 2200 \text{ kg MS ha}^{-1}$ .

$N_{ex} = 32 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Sur la base d'une fixation libre de  $N_2$  de  $2 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Ganry, 1990a) et d'apports atmosphériques de  $7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Van der Pol et Traoré., 1993), les inputs sont évalués à  $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  maximum.

On s'aperçoit que ces inputs totaux sont loin de compenser les outputs minimums constitués par les récoltes ( $N_{ex} = 32 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). On en déduit que le stock de N du sol est entamé chaque année de l'ordre de  $20 \text{ à } 25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

### 3.2.3. Estimation de $N_{ex}$ et du bilan N sol-plante dans la parcelle de sorgho

Les données de départ proviennent de Gigou (1982) ; Taonda (1995) et Berger (1985) :

$\%N_{grains} = 1,08\%$  ;  $\%N_{pailles} = 0,35$  ;  $\%N_{racines} = 0,5\%$  ;

$1 \text{ t MS de fumier (vache)} = 12,8 \text{ kg N}$  ;  $BA_t/BR_t = 8,8$

Les rendements étant de  $1000 \text{ kg MS de grains ha}^{-1}$ , on en déduit

$N_{ex} = 35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1} + 18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1} = 53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . Les inputs totaux s'élèvent à :

$10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (fixation de  $N_2$  + dépositions atmosphériques) +  $25,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (fumier)  
 $= 35,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

Pour un input annuel de N de l'ordre de  $36 \text{ kg}$ , le sorgho en exporte  $53$ . On en déduit là aussi que le stock de N est entamé chaque année de  $17 \text{ kg N ha}^{-1}$  en moyenne (valeur proche de celle trouvée sous mil).

### 3.2.4. Estimation de $k_2$ sous savane

Selon l'équation (3) ci-dessus (§ 2.4.), et nous fondant sur l'hypothèse que le système sous végétation naturelle de savane est à l'état d'équilibre organique, sur la base d'apports organiques annuels dus à la savane dans cette zone écologique de  $4,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$  d'après César et Coulibaly (1991), et sur la base du stock de C sous savane de  $81,9 \text{ t ha}^{-1}$  (§ 3.2.1.) nous pouvons estimer le coefficient  $k_2$  :

$A/H = 4,6 / 81,9 \Rightarrow k_2 = 5,6\%$



### 3.3. Approche qualitative de la MOS

#### 3.3.1. C/N du sol

Tableau 3 - rapports C/ N

Table 3 - C/N ratios

Horizons	A	Bt1	Bt2
Savane	15,4	12,3	12,6
Maïs/sorgho	12,0	11,5	10,0
Mil	14,6	14,3	13,4

De façon générale, les rapports C/N sont compris en moyenne entre 10 et 15 et conformes à ceux de la zone (Bunasols, 1999). Sur l'ensemble des résultats, ce rapport décroît avec la profondeur. Il est plus élevé sous savane que sous maïs. Dans les horizons Bt1 et Bt2, C/N est plus élevé sous mil que sous maïs/sorgho. Sous culture et en surface, malgré la quasi absence de restitutions organiques fraîches sous mil, le C/N (14,6) est proche de celui observé sous savane (15,4).

#### 3.3.2. Fractionnement granulométrique de la MOS

##### 3.3.2.1. Les teneurs en C et N

Les résultats du fractionnement granulométrique sont présentés dans un diagramme synthétique permettant de faire figurer plusieurs fractionnements sur un même graphe, la position sur l'axe des abscisses représentant la taille d'une fraction par rapport à l'ensemble, depuis la fractions grossières jusqu'à la fraction fine et la position par rapport à l'axe des ordonnées représentant les teneurs en C et N.

Pour chaque horizon nous examinerons les teneurs en C puis en N en partant des fractions grossières (200-2000  $\mu\text{m}$ ) aux fractions les plus fines (0-20  $\mu\text{m}$ ).

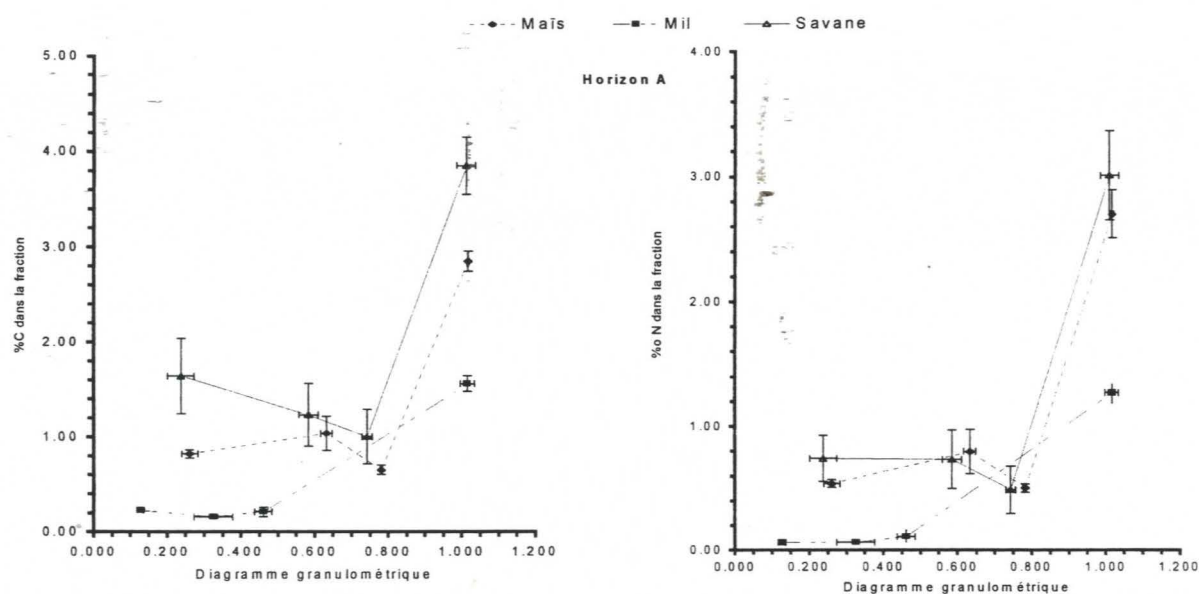
##### Horizon A

Dans les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  (fig. 4) les teneurs de C varient selon les modes de gestion : 1,64% (16,4 mg de C  $\text{g}^{-1}$  de fraction) sous savane, 0,82% (8,2 mg de C  $\text{g}^{-1}$ ) sous culture avec apport de MO et 0,22% (2,2 mg de C  $\text{g}^{-1}$ ) sous culture sans apport de MO. Les fractions comprises entre 20 et 200  $\mu\text{m}$  contiennent les teneurs en C les plus basses dans chaque mode de gestion. Dans l'ensemble c'est sous mil que les teneurs sont les plus faibles. Les fractions 0-20  $\mu\text{m}$  présentent les différences les plus nettes de teneurs de C entre les trois modes de gestion : 38,4 mg de C  $\text{g}^{-1}$  sous savane, 28,4 mg de C  $\text{g}^{-1}$  sous sorgho/maïs et 15,6 mg de C  $\text{g}^{-1}$  sous mil. Les teneurs de N évoluent proportionnellement à celles de C hormis pour les fractions 20-200  $\mu\text{m}$  où les teneurs en N sous

maïs, à l'inverse de celles du C, sont légèrement supérieures à celles observées sous savane. Elles sont supérieures à celles obtenues sous mil. Dans toutes les fractions les teneurs en N sont voisines entre le maïs et la savane. Les teneurs en N sous mil sont nettement les plus basses.

**Figure 4 – Teneurs en C et N des fractions (horizon A)**

**Figure 4 – Carbon and nitrogen contents of particle size fractions (A horizon)**



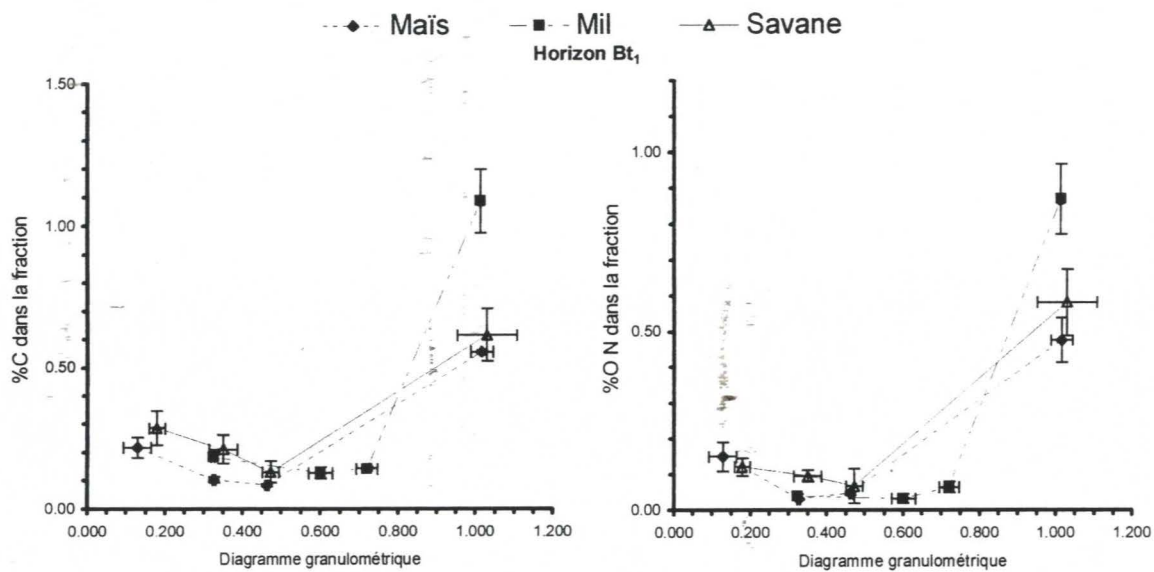
#### Horizon Bt1

Dans l'ensemble, toutes les teneurs en C et N de l'horizon Bt1 sont inférieures à celles observées dans l'horizon A. Dans les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$ , la savane présente des teneurs en C légèrement supérieures au mil et au maïs. Sous sorgho/maïs et sous mil, les valeurs sont très proches, respectivement 2,1 et 1,8 mg de C  $\text{g}^{-1}$  de fraction. Pour les fractions 20-200  $\mu\text{m}$ , il est à noter que les valeurs de C sont proches quel que soit le mode de gestion. Les plus faibles teneurs sont néanmoins obtenues sous mil. Dans les fractions 0-20  $\mu\text{m}$  cependant, les teneurs en C sous mil sont plus élevées (10,9 mg de C  $\text{g}^{-1}$ ) par rapport aux teneurs sous sorgho/maïs et savane. Proportionnellement, les teneurs de N présentent les mêmes tendances : dans les fractions 0-20  $\mu\text{m}$ , on a 0,87 mg  $\text{g}^{-1}$  de sol sous mil, 0,58 mg  $\text{g}^{-1}$  sous savane et 0,48 mg  $\text{g}^{-1}$  sous maïs. Dans les fractions 20-200  $\mu\text{m}$  c'est sous le mil que l'on observe les teneurs les plus basses. Les teneurs en C et N ne sont pas bien différentes entre maïs et savane.



**Figure 5 – Teneurs en C et N des fractions ( Bt1)**

**Figure 5 – Carbon and nitrogen contents of particle size fractions (Bt1)**

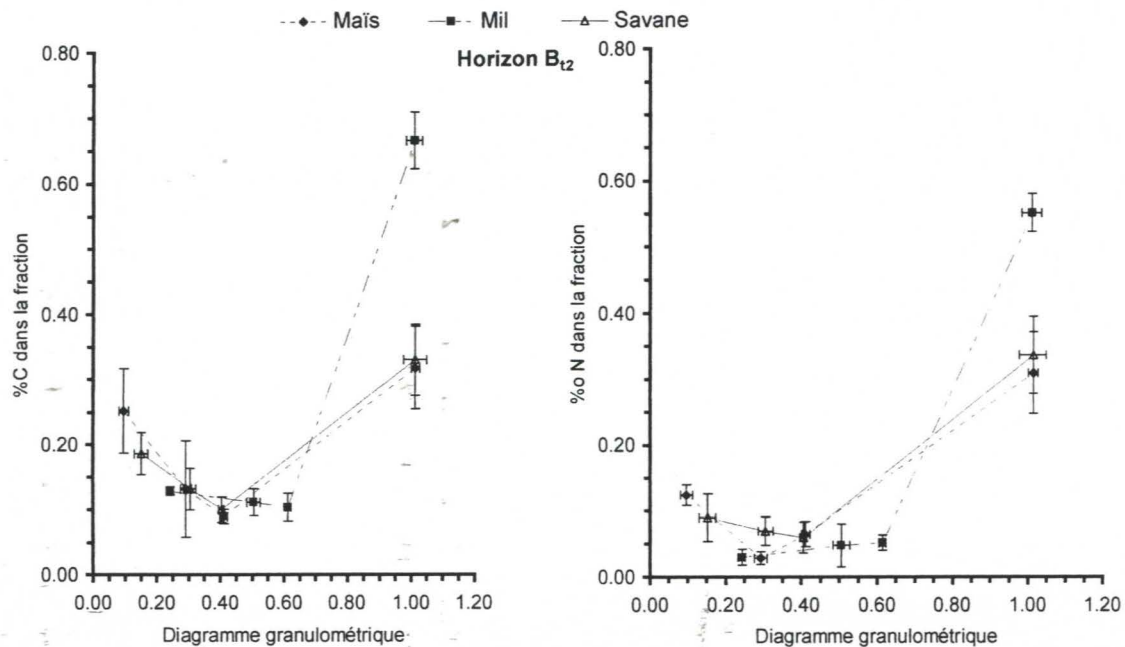


## Horizon Bt2

Les teneurs en C et N présentent des valeurs plus basses que celles obtenues dans Bt2. Dans les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  c'est sous maïs/sorgho que l'on observe les teneurs les plus élevées en C (2,51 mg de C  $\text{g}^{-1}$  de fraction). En revanche, sous mil les teneurs sont les plus faibles (12,8 mg de C  $\text{g}^{-1}$ ). Dans les fractions 20-200  $\mu\text{m}$  les teneurs sont homogènes. Dans les fractions fines (0-20  $\mu\text{m}$ ) les teneurs en C les plus élevées sont obtenues sous mil (6,67 mg de C  $\text{g}^{-1}$ ). La savane et le sorgho/maïs présentent des teneurs en C très voisines 3,3 mg de C  $\text{g}^{-1}$  et 0,31 mg de C  $\text{g}^{-1}$ .

Les teneurs en N dans les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  sont plus élevées sous maïs (0,12 mg de C  $\text{g}^{-1}$ ) contre 0,089 sous savane et 0,029 mg de C  $\text{g}^{-1}$  sous mil. Les teneurs en N sont assez homogènes dans les fractions 50-200  $\mu\text{m}$ . Dans les fractions 0-20  $\mu\text{m}$  les teneurs en N sont plus élevées sous mil (0,55 mg de N  $\text{g}^{-1}$ ) que sous savane (0,33 mg de N  $\text{g}^{-1}$ ) ou maïs (0,31 mg de N  $\text{g}^{-1}$ ).

Dans l'ensemble, les fractions 20-50  $\mu\text{m}$  ont les plus faibles teneurs en C et N quel que soit le mode de gestion et quel que soit l'horizon considéré. En revanche les fractions 0-20  $\mu\text{m}$  présentent quel que soit l'horizon, les teneurs les plus élevées en ces deux éléments.



**Figure 6 – Teneurs en C et N des fractions (Bt2)**

**Figure 6 – Carbon and nitrogen contents of particle size fractions (Bt2)**

### 3.3.2.2. Contenu en carbone des différentes fractions granulométriques en fonction du mode de gestion

**Fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  :** ces fractions contiennent dans l'horizon A 19,5% du C total (Ct) des échantillons sous savane, 15,8% sous maïs/sorgho et 15% seulement sous mil. Dans l'horizon Bt1, ces fractions contiennent 13,8% du Ct sous mil, 11,7% sous savane et 7,8% sous maïs/sorgho. Dans l'horizon Bt2 les contenus de C de ces fractions représentent 12% sous savane, 9,7% sous maïs et 9% sous mil.

**Fractions 50-200  $\mu\text{m}$  :** ces fractions contiennent dans l'horizon A 28% du Ct sous maïs/sorgho, 21% sous savane et seulement 10,5% sous mil. Dans Bt1 et Bt2 les contenus sont plus homogènes (8-9%) hormis le cas de Bt1 sous maïs, d'environ 6%.

**Fractions 20-50  $\mu\text{m}$  :** Ces fractions présentent les contenus de C les plus faibles. Les taux sont homogènes notamment dans Bt1 et Bt2 (3-4%) quel que soit le mode de gestion. Dans l'horizon A on observe le taux le plus bas sous mil (5%) contre 7,1% sous maïs/sorgho et 7,8% sous savane.

**Fractions 0-20  $\mu\text{m}$  :** Les contenus en C de ces fractions sont les plus élevées par rapport aux autres fractions. Dans l'horizons A elles contiennent de 49 à 69% du Ct. Dans les horizons Bt1 et Bt2 elle contiennent de 74% (Bt1 sous mil) à 83,5% (Bt1 sous maïs/Sorgho) du Ct.

### 3.2.2.2. Les rapports C/N

Hormis le résultat obtenu dans Bt2 sous sorgho/maïs et dans les fractions 50-200 $\mu\text{m}$  (B), la valeur de C/N est plus élevée sous mil, notamment dans les fractions grossières (fig. 7).

**Figure 7 – Rapport C/N des fractions**



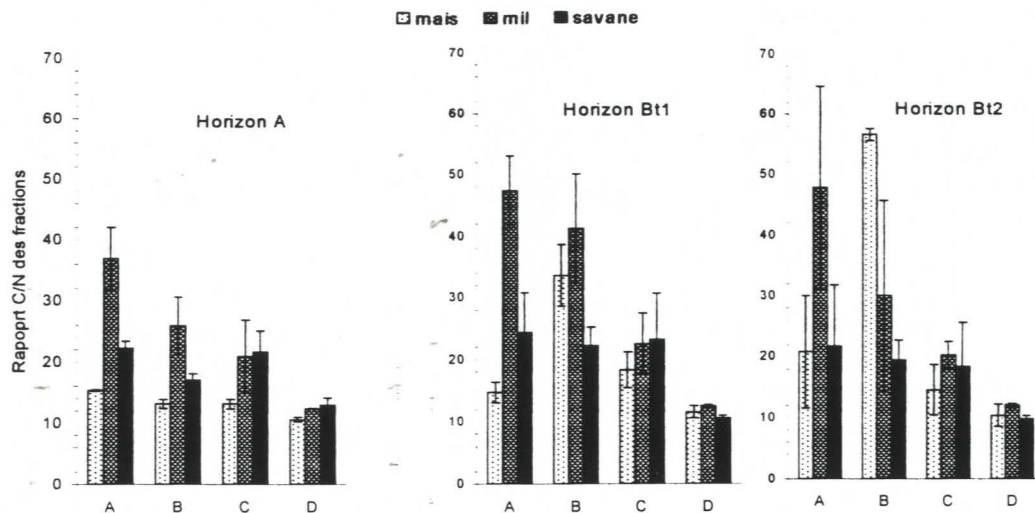


Figure 7 – C/N ratios of particule size fractions

A : fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  ; B : fractions 50-200  $\mu\text{m}$  ; C : fractions 20-50  $\mu\text{m}$  ; D : 0-20  $\mu\text{m}$

Dans les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  (A), elle est en moyenne voisine de 45. Le C/N sous maïs est plus bas en dehors du cas des fractions 50-200  $\mu\text{m}$  dans l'horizon Bt2 signalé ci-dessus. Ces résultats montrent que les rapports C/N décroissent régulièrement d'une part quand on passe des fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  aux fractions 0-20  $\mu\text{m}$  (D) et d'autre part quand on passe de l'horizon supérieur à l'horizon sous-jacent.

#### 4. DISCUSSION CONCLUSION

Les sols étudiés sont de même type pédologique. En faisant l'hypothèse que ces sols sous végétation naturelle et sous culture étaient identiques au départ, les résultats obtenus mettent en évidence que les stocks de C organique ont fortement décru 13 ans après défrichement sous l'action de la culture sans apport de fertilisants : de 82 t C ha<sup>-1</sup> sous savane, le stock passe à 38 t C ha<sup>-1</sup> sous culture avec fumure organique et à 30 t C ha<sup>-1</sup> sous culture sans fumure organique. Le fait que cette savane est partiellement détruite ou exploitée annuellement par les feux de brousse et la vaine pâture, nous conduit à penser que le potentiel de stockage de C dans le sol est vraisemblablement supérieur à 80 t ha<sup>-1</sup>. Ces résultats suggèrent que les apports de composés organiques sous forme de litière aérienne et racinaire peuvent participer activement à la reconstitution de la MOS ; ils confirment le rôle de la biomasse végétale et notamment sa composition biochimique sur la quantité et la stabilité de la MOS (Greenland and Nye, 1959 ; Volkoff *et al.* 1989 ; Feller, 1994).

L'apport de fumier induit un accroissement de +8 t C ha<sup>-1</sup>. Cet effet dû au fumier est faible et pourrait être accru à condition d'augmenter la dose et la qualité du fumier ; en effet, Berger *et al.* (1987) préconise des doses de 5 à 6 t MS ha<sup>-1</sup> de fumier dans la zone pour induire un bilan humique

satisfaisant, mais pour la zone étudiée, cela impliquerait une augmentation du troupeau incompatible avec les ressources fourragères locales.

Le bilan simplifié de l'azote est négatif sous mil, et aussi sous sorgho/maïs malgré la fumure (les exportations de N par les récoltes hors de la parcelle sont supérieures aux entrées de N dans le système). Ce bilan permet de renseigner sur *l'état d'équilibre organique* ; celui-ci n'est pas encore atteint dans les sols sous culture : tant que *l'état d'équilibre organique* ne sera pas atteint, le sol s'appauvrira, les rendements décroîtront et le sol perdra du C.

Sous savane, le coefficient  $k_2$  calculé avec le modèle mathématique proposé par Jenny (1941), Hénin et Dupuis (1945), est de 5,6%. Ce coefficient  $k_2$  témoigne d'une bonne capacité du sol à recycler la MO fraîche avec un temps de turn over de  $t = 1/k_2 = 17,9$  ans ; il est conforme à celui trouvé par de nombreux auteurs dont Greenland (1970) et Pieri (1989) qui indiquent des valeurs de  $k_2 = 4\%$ , avec des variations allant de 2 à 7% pour toute la région d'Afrique de l'Ouest.

Les différents modes de gestion influent principalement sur les teneurs en C des horizons A et Bt1. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Feller (1994). Sous savane et sous culture avec apport de fumier, plus de 80% des stocks de C sont dans les horizons A et Bt1 contre 66% sous culture sans apport de MO. Sous savane, 69% des stocks de C se trouvent concentrés dans les 20 premiers cm. Sous l'action de la mise en culture, les modifications sont surtout nettes dans les horizons superficiels. Les horizons A sont ceux qui perdent le plus de MOS :  $50 \text{ t C ha}^{-1}$  sous l'action de la culture.

Le fractionnement granulométrique de la MOS permet de préciser l'état initial des matières organiques, de préciser les compartiments de stockage du C et par là d'approcher les déterminants de la quantité et de la stabilité de la MOS.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent que toutes les fractions sont concernées par les variations (augmentation ou baisse) des contenus en C mais les amplitudes sont variables selon la fraction et le mode de gestion.

Les teneurs en C et N des fractions 0-20  $\mu\text{m}$  sont les plus élevées. Au moins 49% du C total sont contenus dans ces fractions dans l'horizon A. Dans les horizons Bt1 et Bt2 ces fractions contiennent de 74% à 83% du C total. La MOS est donc principalement stockée dans ces fractions. Les teneurs de ces fractions montrent des variations importantes entre la savane et le mil dans l'horizon A.



Les teneurs des fractions 20-50  $\mu\text{m}$  et 50-200  $\mu\text{m}$  sont généralement les plus faibles avec une homogénéisation pour tous les modes de gestion et tous les horizons. Nous pouvons donc dire que ces fractions, particulièrement celles comprises entre 20-50  $\mu\text{m}$  contribuent peu aux stocks de MOS. Dans les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  les teneurs en C et N sont variables dans les horizons A. ces diminutions observées peuvent être attribuées à la fois à des niveaux de restitution plus faibles et à la dynamique rapide de ces fractions, celle-ci étant accélérée avec le travail du sol (Feller & Beare, 1997).

Le défrichement et la mise en culture continue conduisent à des diminutions importantes des teneurs en C et N des fractions grossières et fines dans les horizons A. Le schéma proposé par Feller & Beare (1997) pour les sols argileux (fortes variations des fractions argileuses) est donc vérifié. Les teneurs plus élevées en C et N sous mil dans les fractions 0-20  $\mu\text{m}$  dans Bt1 et Bt2, s'expliqueraient par la faible proportion des fractions fines, respectivement 19 et 30% d'argile, dans ces horizons contre 42 à 47% d'argile sous maïs ou sous savane (cf. tableau 1). Nos résultats ne nous permettent pas de tirer des conclusions sur les variations des teneurs dans les horizons Bt1 et Bt2.

Les C/N du sol décroissent avec la profondeur de 15,4 à 12,6 (sous savane), ce qui traduit une maturité plus grande de l'humus dans les horizons de profondeur. Mais ces C/N ont-ils un lien avec le mode de gestion des terres? Dans le cas du site cultivé en mil, les C/N sont plus élevés que dans les autres sites. L'hypothèse avancée est la suivante : les apports de N sur ce champ sont nuls en dehors des apports atmosphériques et de la fixation libre de  $\text{N}_2$  estimés à 10 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . Les seuls apports organiques sont ceux de la biomasse racinaire du mil dont le rapport C/N est relativement élevé et de l'ordre de 50 selon Chopart (1999).

Sous l'action de l'apport de fumier, outre l'accroissement de la teneur en C en surface, on note un abaissement du C/N qui s'expliquerait : (i) par un apport de N dû au fumier, (ii) par une humification et une minéralisation rapide des fèces et autres débris végétaux sous maïs.

Les rapports C/N des fractions décroissent régulièrement, d'une part des fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  aux fractions 0-20  $\mu\text{m}$ , et d'autre part dans ces fractions des horizons supérieurs aux horizons de profondeur. Ces résultats associés aux observations morphologiques, permettent de conclure que les fractions 200-2000  $\mu\text{m}$  présentent une dominance de matière organique sous forme de débris végétaux notamment dans les horizons de surface. Les fractions <20  $\mu\text{m}$  ont des rapports C/N faibles. Ces fractions contiennent plutôt de la matière organique à caractère organo-minéral, avec un degré d'évolution plus avancé. Cette étude confirme également le rôle prépondérant de la fraction "débris végétaux" dans ces sols en surface et de la fraction organo-argileuse dans les horizons de profondeur, déjà signalé par d'autres auteurs (Feller, 1994 ; Kouakoua, 1998).

Sur un plan agronomique, on note une tendance à l'acidification avec la mise en culture. Cela a pour conséquence un accroissement de la solubilité de Al, une diminution de l'assimilabilité du P consécutive à la libération des cations  $Al^{+++}$  et très probablement une perturbation de l'activité biologique. Le pH bas (5,10) observé dans Bt2 sous culture avec fumier mérite qu'on s'y attarde. L'hypothèse que nous avançons est la suivante : il existe un effet favorable du fumier sur l'enracinement et la minéralisation de N dans Bt2, qui se traduit par un départ de cations bivalents par absorption racinaire et par une lixiviation latérale, l'anion entraîneur étant le  $NO_3^-$ . Comme l'acidification est un processus induit par la mise en culture, l'amendement des sols (chaulage, phosphates naturels) en plus des apports de fumier est recommandé afin d'optimiser l'effet du fumier sur la fertilité du sol et sur le stock de MOS.

Outre une certaine diminution de l'épaisseur de l'horizon A et de l'ensemble du profil cultural sous culture, l'augmentation en éléments grossiers surtout dans les horizons de surface, témoigne d'un processus érosif apparent. Les écoulements de surface sous culture au moment de l'installation de la saison des pluies sont très importants et l'absence d'écran végétal peut entraîner des dégâts considérables. Par suite de la perte progressive de MOS au fil des ans suite à la mise en culture, sans restitutions organiques suffisantes, les sols deviennent particulièrement sensibles à l'érosion. L'adoption de pratiques visant à réduire les pertes par érosion (cordons pierreux, technique des addos), peut contribuer à restaurer la MOS.

En conclusion, pour diminuer les pertes de C et régénérer la MOS sous cultures, nous pouvons dire qu'il importe : (1) de favoriser les cultures à système racinaire abondant et les apports de matière organique (à C/N élevé ou préhumifiées) résistant à une biodégradation rapide, (2) de réduire le travail du sol afin de ne pas créer les conditions d'une biodégradation rapide, (3) d'empêcher l'érosion de la MOS grossière en surface, par des ados, des cordons pierreux... (4) de pratiquer régulièrement le chaulage.

Sur un plan méthodologique, ce travail permet de mieux maîtriser toute la chaîne de mesure des stocks de C in situ. L'évaluation des stocks de C du sol comporte trois étapes principales qui sont: (i) le nombre et la localisation des points d'échantillonnage, (ii) la mesure de la densité apparente, (iii) l'analyse de C. La première étape est la plus difficile à réaliser. Dans le cas de la présente étude, nous avons fait l'hypothèse que les lxisols plinthiques avaient les mêmes caractéristiques au moment de la défriche. Le contraste observé entre les textures dans Bt1 et Bt2 mérite d'être élucidé. En outre, on peut expliquer le taux élevé d'éléments grossiers en surface sous culture par les



mouvements de l'eau accentués sous culture, ce qui n'est pas le cas des taux élevés des horizons de profondeur. L'augmentation de la charge graveleuse a une incidence négative sur le stock de C du sol, d'où la nécessité de bien évaluer cette fraction dans le sol, ce qui ne peut être fait que sur place.

## 5. Perspectives

Notre objectif est de quantifier le C séquestré au niveau de l'écosystème. Nous l'avons quantifié dans le sol et de façon ponctuelle. Pour la biomasse nous avons utilisé des données de la littérature.

Pour mieux appréhender la dynamique de la matière organique dans cette région, il faudrait :

- quantifier le C de la biomasse (racinaire et aérienne) et sa variabilité en élargissant l'étude à d'autres types de sols dans des positions géomorphologiques différentes.
- Rechercher l'origine de la MOS sous culture ( $\delta^{13}\text{C}$ )
- approfondir les recherches sur les déterminants du stockage de la MOS en travaillant notamment sur le rôle des argiles et des oxydes, l'activité biologique, la température et la qualité de la matière organique.
- étudier au niveau de la parcelle les pratiques culturales améliorant le stockage de la matière organique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Vitarello V., Cerri C., Andreux F., Feller C. et Victoria R., 1989** - Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Am. J. Soil Sci.*, vol 53, n°3 : 773-778.

**Arrouays D., Kicin J. L., Pelissier Ph., Vion I., 1994** - Evolution des stocks de carbone des sols après déforestation : Analyse spatio-temporelle à l'échelle d'un paysage pédologique, *Etude et Gestion des Sols*, 1, 2 : 29-38.

**BRGM, 1992** - Carte géologique du Burkina Faso. Echelle : 1/1 000 000.

**Batjes N.H., 1996** - Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European. J. Soil Sci.*, 47 : 151-163.

**Berger M., 1985** - Enquête sur le potentiel et la réalité des fumures organiques dans la zones cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso. *INERA-CIRAD-IRCT*, Montpellier, 17 p.

**Berger M. Belem, P. C., Dakouo D., et Hien V., 1987** - Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Coton et fibres tropicales*, 42 (3) : 201-207.

**Bernoux M., Arrouays D., Cerri C., de Alencastro Graça P. M., Volkoff B., Trichet J., 1998** - Estimation des stocks de carbone des sols du Rondônia (Amazonie brésilienne), *Etude et Gestion des Sols*, 5, 1 : 31-42.

**BU.NA.SOLS, 1999** - Etude morphopédologique des provinces du Poni et du Noumbiel. *Rapp. Tech. Ouagadougou, Bunasols*, 196 p.

**C.P.C.S., 1967** - Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols 1963-1967, *Rapp. Mult.*, 96 p.

**Cesar J. et Coulibaly Z., 1991** - Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le Nord de la Côte D'ivoire. In " La jachère en Afrique de l'Ouest", colloques et séminaires, *ORSTOM* : 415-434.

**Charreau C. et Tourte R., 1967** - Le rôle des facteurs biologiques dans l'amélioration du profil cultural dans les systèmes d'agriculture traditionnel de zone tropical sèche. In : *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*. IRAT (ed.), Tananarive, 19-25 nov. 1967 : 1518-1529.

**Chopart J. L., 1999** - Relation entre état physique du sol, systèmes racinaires et fonctionnement hydrique du peuplement végétal. Thèse d'université, Sciences de la terre et de l'Univers, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, T1 et T2, 104 et 256 p.

**Detwiler R. P., 1986** - Land use change and the global carbone cycle : the role of tropical soils. *Biogeochemistry* 2 : 67 -93.

**Dommergues Y. et Mangenot F., 1970** - Ecologie microbienne du sol, Paris, Masson et Cie, 796 p.

**Dugué P., 1999** - Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure animale : impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes. *Cirad*, Montpellier : 57-99.



**Eswaran H., Van Den Berg E. & Reich P., 1993** - Organic carbon in soils of the world. Soil Sci. Soc. Am. J. 57 : 192-194.

**FAO, 1977** - Directives pour la description des sols (seconde édition), Rome, FAO, 72 p.

**FAO, ISRIC et AISS, 1999** - Base de Référence Mondiale pour les ressources en sols (WRB). Rapport n° 84 sur les ressources en sols du Monde, Rome, FAO, 96 p.

**Feller C., 1994** - La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse Doctorat Sciences Naturelles, Institut de Géologie de Strasbourg, 393 p + Annexes.

**Feller C., 1995** - La matière organique du sol : un indicateur de fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et Développement, 8 : 35-41.

**Feller C., Beare M. H., 1997** - Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics, Géoderma vol.79, n°1-4 : 69-116.

**Fernandes E.C.M., Motavalli P. P., Castilla C., Mukurumbira L., 1997** - Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems, Géoderma vol.79, n°1-4 : 49-67.

**Fontes J., Aizpuru M., Carayon J.-L., Larincq Ph., Guinko S., Hien M., 1999** - La carte numérique, un outil d'appui à la caractérisation et à l'inventaire des ressources végétales. Un exemple en milieu tropical sec, au Burkina Faso, Sécheresse, 10, 1 : 19-25.

**Ganry F., 1990a** - Etude en microlysimètres de la décomposition de plusieurs types de résidus de récolte dans un sol tropical. Agron. Trop. 32 (1) : 53-65.

**Ganry F., 1990b** - Rôle des légumineuses dans le maintien et la régénération de la fertilité azotée des sols sableux tropicaux. Agron. et ressources nat. en rég. Trop., IRAT, Montp. : 281-278.

**Gigou J., 1982** - Dynamique de l'azote minéral en sol nu ou cultivé de région tropicale sèche du Nord Cameroun. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, 171 p.

**Greenland D. J. & Nye P. H., 1959** - Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. Journal of science, 10 : 284-299.

**Greenland D. J., 1970** - The maintenance of shifting cultivation versus the development of continuous management systems. In, seminar on traditional system of african agriculture, Ford foundation- IRAT-IITA, Ibadan, Nigeria, 16-20 nov., 10 p.

**Guinko S., 1998** - Caractéristiques de la végétation du Burkina Faso et leurs impacts sur les sols. Tour B7 du 16<sup>e</sup> Congrès Mondial de science du sol. Ouagadougou, 13 p.

**Hénin S. et Dupuis M., 1945** - Essai de bilan de la matière organique du sol. Ann. Agro. 1 : 16-26.

**Houghton R. A., Skole D.L., Lefowitz D.S., 1991** - Change in the landscape of Latin America between 1850 and 1985, II. Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. For. Ecol. Manage. 38 : 173-199.

**INRA-AFES, 1995** - Référentiel Pédologique Français. Rapp. Mult. INRA-AFES, 332 p.

**Kouakoua E., 1998** – La matière organique et la stabilité structurale d'horizons de surface des sols ferrallitiques argileux. Effet du mode de gestion des terres. Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, Sciences du sol, 209 P.

**Lundgren B.O., 1978** - Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzanian highlands. Reports in Forest Ecology and Forest Soils 31. Department of Forestry Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 426 P.

**Manlay R., 2000** – Organic matter dynamics in mixed-farming systems of the West African savanna : a village case study from south Senegal. Thèse Doctorat de l'ENGREF, Environnement. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et forêts, Centre de Montpellier , 192 p. + Annexes.

**Mckenzie N., Ryan P., Fogarty P. and Wood J., 2000** - Sampling, measurement and analytical protocols for carbon estimation in soil, litter and coarse woody debris, 61 p.

Orsini L. et Rémy J.-C., 1976 – Utilisation du chlorure de cobaltihexamine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. Bulletin de l'association Française pour l'étude des sols, 4 : 269-275.

**Pieri C., 1989** – Fertilité des terres des savanes. Paris, Ministère de la Coopération-CIRAD, 444 p.

**Sauerbeck D.R., Nonnen S. and Allard J.L., 1982** – Consumption and turnover of photosynthates in the rhizosphere depending on plant species and growth conditions. In Abstracts 12<sup>th</sup> International Congress of Soil Science, New Delhi, India, 8-16 février 1982, 59 P.

**Scholes M. C., Powlson D. Tian G., 1997** - Input control of organic matter dynamics, Géoderma vol.79, 1-4 : 25-47.

**Taonda S. J.-B., 1995** - Evolution de la fertilité des sols sur un front pionnier en zone Nord-Soudanienne (Burkina Faso). Thèse de Doctorat de l'INPL, Spécialité Sciences Agronomiques, Nancy, 133 p. + annexes.

**Van der Pol F. and Traoré B., 1993** - Soil nutrient depletion by agricultural production in Southern Mali. Fertilizer Research. Royal Tropical Institute, Amsterdam. Vol. 36 (1) : 79-90.

**Van Noordwijk M., Cerri C., Woomer P. L., Nugroho K., Bernoux M., 1997** – Soil carbon dynamics in tropical forest zone, Géoderma vol. 79, 1-4 : 187-225.

**Volkoff B., Cerri C. et Andreux F., 1989** - Matière organique et conservation des sols en zones tropicales forestières : voies actuelles de recherche. In : neuvième réunion du sous comité Ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. FAO, Rome, n°63 : 208-215.

**Woomer P.L., Palm C.A., Quereshi J. N., Kottosame J., 1998** – Carbon sequestration and organic resource management in African smallholder agriculture. In Lal et al. : 153-173.

**Zech W., Senesi N., Guggenberger G., Kaiser K., Lehmann J., Miano T. M., Miltner A., Schroth G., 1997** – Factors controlling humification and mineralisation of soil organic matter in the tropics, Geoderma vol.79, 1-4 : 117-161.



## RESUME

La matière organique des sols (MOS) joue un rôle prépondérant dans la fertilité des sols et dans la réduction des gaz à effet de serre en tant que source ou puits de carbone vis à vis de l'atmosphère. On sait que le mode de gestion des terres influe directement sur la MOS.

L'objectif de ce travail est double : (1) évaluer le potentiel de stockage du C d'un lixisol plinthique du Sud-Ouest du Burkina Faso sous trois modes de gestion différents : végétation naturelle, culture continue sans fumure et culture continue avec fumure, (2) approcher les déterminants du stockage de la MOS et du C dans le sol.

La méthodologie mise en œuvre concerne *in situ* la caractérisation du milieu (cartographie des sols, mesures des densités apparentes et échantillonnage) et en laboratoire le fractionnement granulométrique de la MOS et les mesures des teneurs en C et N du sol et des fractions granulométriques.

Les résultats montrent que les stocks de C sont de  $81,9 \text{ t ha}^{-1}$  sous savane contre 30 sous culture continue, le C étant principalement contenus dans les horizons de surface. Le fumier traditionnel apporté à raison de  $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  induit une augmentation, de  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . Le fractionnement granulométrique montre : (i) que les teneurs en C sont plus élevées dans les fractions « argileuses » (ii) que le mode de gestion des terres influence principalement les teneurs en C des fractions grossières ( $200\text{-}2000 \text{ }\mu\text{m}$ ) et des fractions fines ( $0\text{-}20 \text{ }\mu\text{m}$ ) en surface.

Sur un plan méthodologique, cette étude a aussi permis de montrer l'importance de la phase de prélèvement dans l'évaluation des stocks de C.

**Mots clefs :** Sols, carbone organique, Burkina, déforestation, culture continue, fumier, échantillonnage.

## SUMMARY

The soils organic matter (SOM) plays a vital role in soils fertility and, as a source or sink of carbon, in the reduction of greenhouse gases in the atmosphere. The way in which soil is managed is known to have a direct effect on SOM.

This work has a dual objective: (1) to evaluate potential stocks of C in a plinthic lixisol in the South West of Burkina Faso under three different modes of management : natural vegetation, continuous cropping without manure and continuous cropping with manure; (2) to consider the determinants of SOM and C storage in the soil.

The methodology employed *in situ*, involved drawing up a profile of the environment (soils mapping, measurement of soils bulk densities and sampling) and, in the laboratory, particle-size fractionation of SOM as well as measuring C and N contents in the soil and granulometric fractions.

The results show stocks of C to be at  $80 \text{ t ha}^{-1}$  under savannah against 30, under continuous cropping, C being chiefly contained in the surface horizons. Traditional manure added at a rate of  $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  led to a slight increase of  $8 \text{ t ha}^{-1}$ . Particle-size fractionation shows : (i) that C content is higher in « clay » fractions (ii) that soil management principally affects the C content of coarse fractions ( $200\text{-}2000 \text{ }\mu\text{m}$ ), and that of fine fractions ( $0\text{-}20 \text{ }\mu\text{m}$ ) at surface levels. Methodologically speaking, this study also demonstrated the importance of the sampling phase in evaluating stocks of C.

**Key words :** Soils, organic carbon, Burkina, deforestation, continuous cropping, manure, sampling.